DOI: 10.5846/stxb201511202350
杨旭,高梅香,张雪萍,林琳,沙迪,张利敏.秸秆还田对耕作黑土中小型土壤动物群落的影响.生态学报,2017,37(7):2206-2216.
Yang X, Gao M X, Zhang X P, Lin L, Sha D, Zhang L M.Effect of straw-returning management on meso-micro soil fauna in a cultivated black soil area. Acta Ecologica Sinica,2017,37(7):2206-2216.

秸秆还田对耕作黑土中小型土壤动物群落的影响

杨 旭,高梅香,张雪萍,林 琳*,沙 迪,张利敏
哈尔滨师范大学, 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室,地理科学学院, 哈尔滨 150025

摘要:为了考察秸秆还田对耕作黑土中土壤动物群落结构的影响,2009 年到 2011 年在黑龙江省海伦市进行了定点实验,调查了样地 A(17 kg 秸秆+含高浓度催腐剂还田)、样地 B(8.5 kg 秸秆+含低浓度催腐剂还田)、样地 C(对照样地),样地 D(8.5 kg 秸秆还田),样地 E(17 kg 秸秆还田)的中小型土壤动物群落结构。共获取中小型土壤动物 21779 只,分别隶属于 58 个类群。其中,甲螨亚目、姬跳虫科、棘跳虫科与驼跳科 4 个类群土壤动物在本地区是最适应环境变化的土壤动物类群。土壤动物群落结构分析表明,对照样地 C 中土壤动物密度最高(46591.67 只/m^2),土壤动物类群最多(17.17),土壤动物优势度指数最大(0.37),样地 D 中土壤动物丰富度指数最多(2.63),样地 A 中土壤动物多样性指数最高(1.72),样地 B 中土壤动物均匀性最高(0.64)。同时,各样地土壤动物基本都具有表聚性,样地 A 中土壤动物更趋于生存于上层土壤。综合比较分析表明,样地 A 秸秆还田方式相对来说最利于土壤动物生存。主成分分析表明,不同秸秆还田方式对土壤动物密度、甲螨亚目动物类群、节跳虫科类群、前气门亚目类群影响较大,是耕作黑土中对秸秆还田方式反应敏感的土壤动物指标,今后可以作为考察耕作黑土秸秆还田肥力效应的评价指标。另外,CAA 分析表明:受土壤环境因子影响较大的土壤动物类群多为研究区域内优势类群与常见类群,土壤动物的密度与土壤中有机质、有机碳、碳氮比与全磷的含量关系最为密切。

关键词:秸秆还田;耕作黑土;土壤动物;群落结构;土壤环境影响

Effect of straw-returning management on meso-micro soil fauna in a cultivated black soil area

YANG Xu, GAO Meixiang, ZHANG Xueping, LIN Lin*, SHA Di, ZHANG Limin
Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, *China*

Abstract: Crop straw is an important material basis for nutrient cycling in agro-ecosystems. Straw returning is a method in which straw is applied to the soil to improve soil properties, and is used for accelerating immature soil development in cultivated land and improving soil fertility. Soil fauna is an important component of the ecosystem, and is involved in the straw decomposition process, improving the decomposition of organic matter and promoting nutrient absorption by plants. Therefore, research on the ecology of soil fauna and sustainable utilization of cultivated soil, including black soil, has been widely conducted. Understanding the correlation between soil fauna and straw returning will provide a scientific basis for the protection of the soil fauna community and sustainable utilization management of tillage ecosystems in black soil areas. To investigate the effect of straw returning on meso-micro soil fauna communities in cultivated black soil, field experiments were carried out in Hai-lun, Heilongjiang Province from 2009 to 2011. The experiments were conducted in five selected plots: Plot A: 17 kg corn straw returning and high concentrations of microbial inoculants; Plot B: 8.5 kg corn straw

基金项目:国家自然科学基金项目(41371072, 41471037);黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT-2015054);哈尔滨师范大学校青年学术骨干项目(10XQXG08)
收稿日期:2015-11-20; **网络出版日期**:2016-08-30

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: 13836141230@163.com

returning and low concentrations of microbial inoculants; Plot C: control; Plot D: 8.5 kg corn straw returning; and Plot E: 17 kg corn straw returning. A total of 21,779 individuals, belonging to 58 groups, were extracted and identified in the plots. Among them, Oribatida, Hypogastruridae, Onychiuridae, and Cyphoderidae were most suitable to understand environmental changes in the study area. Analysis of the soil fauna community structure showed that the density, group number, and Simpson Dominance Index of soil fauna were highest in the control Plot C (46,591.67 ind/m^2, 17.17, 0.37, respectively). The soil fauna richness index was highest in Plot D (2.63); the diversity index was highest in Plot A (1.72); and the evenness index was highest in Plot B (0.64). Meanwhile, the soil fauna was characterized by surface accumulation in the experimental plots. The group numbers of dominant soil fauna in Plot A in all soil layers were lower than those in other plots, and soil fauna was more dominant in the upper layer of the soil. Together, the method of straw returning in Plot A was the most productive for soil fauna. In addition, the results of a Principal Component Analysis (PCA) indicated that different methods of straw returning had a considerable effect on soil fauna density. Oribatida, Isotomidae, and Prostigmata were sensitive soil fauna that responded to different methods of straw returning, and could therefore be considered as an evaluating index to investigate the fertility effect of straw returning in cultivated black soil in the future. The results of the Canonical Correspondence Analysis (CCA) indicated that the dominant and common groups of soil fauna were considerably influenced by the soil environment, and the density of soil fauna was closely associated with organic matter, organic carbon, the carbon to nitrogen ratio, and total phosphorus in the soil.

Key Words: straw returning; cultivated black soil; meso-micro soil fauna; community structure; soil environment

秸秆是农田生态系统物质循环中重要的物质基础[1],秸秆还田可改良土壤性质,提高土壤肥力。土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分[2-3],也是生态系统物质循环的重要参与者[4]。土壤动物参与秸秆降解过程,有利于提高有机质的降解速率和养分周转量,最终促进植物对养分的吸收[1]。因此,近年来,随着土壤动物生态学与耕作土壤可持续利用相关研究不断深入[5-7],对土壤动物与秸秆还田关系研究逐渐受到关注[8-10]。在耕作黑土生态系统中,土壤动物数量巨大,土壤动物在农业生态系统物质循环中具有一定作用[11-13]。因此,耕作黑土生态系统中土壤动物的群落特征与生态功能是一个重要研究内容[14]。国内已有的秸秆还田耕作条件下土壤动物相关研究表明,秸秆覆盖免耕样地土壤动物个体数、类群与多样性显著高于常规施肥方式,秸秆还田更有利于农田生态系统土壤生物的生存环境的维护[8-10]。但已有研究主要关注秸秆还田与其他施肥方式的比较上,而对于不同秸秆还田方式的比较,以及最佳秸秆还田方式方面的探究较少,尤其对于适于耕作的黑土区相关研究几乎没有。基于此,本研究以东北地区典型黑土耕作区海伦为研究样点,考察中小型土壤动物对不同秸秆还田方式的响应特征,并明晰秸秆还田主要敏感动物特征指标,为黑土耕作区域土壤动物群落的保护和完善耕地生态系统可持续利用管理提供科学依据。

1　研究区概况

本研究选取黑龙江省黑土耕作区海伦市区域内耕地为研究样地。海伦位于 46°58′—47°52′N,126°14′—127°45′E,平均海拔 239 m,属中温带大陆性气候。无霜期 120 d 左右,有效积温 2200—2400℃,年降水量 500—600 mm。常年平均气温 2℃。海伦境内盛产玉米等作物,是重要商品粮基地。

2　研究方法

2.1　试验设计

本研究样地位于海伦西部,地理坐标 126°38′E,47°26′N,选取 5 个面积同为 10 m×4 m 的当地耕作黑土样地为实验地,每块样地之间间隔 0.5 m,本研究于 2008 年 11 月对每个样地同时进行了不同方式处理(采用不同质量的秸秆与不同浓度的高效微生物催腐剂进行处理),分别为样地 A(采用 17 kg 玉米秸秆+含加入高浓

度微生物催腐剂的水 2 kg 进行还田)、样地 B(采用 8.5 kg 玉米秸秆+含加入低浓度微生物催腐剂的水 1 kg 进行还田)、样地 C(未进行处理,保持原有状态作为对照样地)、样地 D(采用 8.5 kg 玉米秸秆+水 1 kg 进行还田)、样地 E(采用 17 kg 玉米秸秆+水 2 kg 进行还田),其中,对秸秆是先粉碎,然后采用水或含微生物催腐剂的溶液进行浸泡,之后在样地中进行喷洒处理。催腐剂采用瑞莱特微生物催腐剂,采用 5 g 催腐剂定溶 0.5 kg 浸泡 24 h,然后量取 0.05 kg 溶液用 10 kg 水稀释搅拌,该溶液在本研究中定为含加入高浓度微生物催腐剂的水,该溶液再稀释一倍,则在本研究中定为含加入低浓度微生物催腐剂的水。实验期间,对所有处理样地除了进行不同形式的秸秆处理外,都是常规耕作。而且,每年采样时,同时对秸秆降解率进行了监测,对于样地 A、B、C、D、E 中的秸秆净分解率,2009 分别为 52.21%、48.90%、39.19%、44.42%、48.20%,2010 年分别为 29.34%、30.88%、20.60%、22.64%、24.70%,2011 年分别为:8.97%、8.46%、7.68%、7.83%、8.34%,降解率逐年降低。样地 A、B、C、D、E 中的秸秆 3 a 累积分解率分别为 90.52%、88.24%、67.47%、74.88%、81.24%,样地 A 秸秆降解效果最好。

2.2 样品采集与动物鉴定

2009 年、2010 年与 2011 年分别于 9 月对所有 5 个样地进行采样,取样时,每个样地均设 4 个重复采样点(均匀布置)。每样点面积为 10 cm×10 cm,由上至下依次取 0—5、5—10、10—15、15—20 cm4 层采集土壤动物;用土钻采集土壤,在每个样地中的 4 个采样点分别取 0—20 cm 处的土壤样品 1 kg,作为土壤理化指标检测待用。土壤动物采用 Tullgren 漏斗经过 18h 分离提取,土壤动物的分类鉴定主要参考尹文英等《中国土壤动物检索图鉴》[15],土壤 pH 采用酸度计(PB-10 型)测定,土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定,土壤有机碳采用 C/N 分析仪 2100S(Elementar Vario-EL,Germany)测定,土壤全氮采用凯氏定氮仪测定(K9840 凯氏定氮仪),土壤全磷采用硫酸-高氯酸消煮法测定[16]。研究期间,不同土壤的理化指标如表 1 所示,由表 1 可以看出,不同秸秆还田方式处理后样地土壤环境具有一定的差异。

表 1 各采样地的主要土壤理化性质(平均值±标准误)

Table 1 Soil properties in the different plots (Mean±SE)

样地 Sites	pH	OM/(g/k)	TOC/(g/kg)	TN/(g/kg)	C/N	TP/(g/kg)
A	6.39±0.04a	50.13±0.26a	29.08±0.15a	2.20±0.15ab	13.43±0.92a	9585.23±693.94a
B	6.54±0.04b	48.34±0.59b	28.04±0.34b	2.16±0.08b	13.02±0.50a	8341.11±539.54b
C	6.46±0.03c	51.82±2.01c	30.06±1.16c	2.29±0.05a	13.17±0.66a	9546.64±767.92a
D	6.51±0.02d	52.21±0.54c	30.29±0.31c	2.30±0.11a	13.27±0.64a	9274.45±939.70a
E	6.54±0.04b	53.68±0.49d	31.14±0.28d	2.59±0.19b	12.18±0.72b	8554.94±452.04b

OM: 有机质 Organic Matter; TOC: 总有机碳 Total Organic Carbon; TN: 全氮 Total Nitrogen; C/N: 碳氮比 Carbon/ Nitrogen; TP: 总磷 Total Phosphorus; 各列字母不同表示差异显著(P<0.05)

2.3 数据处理

土壤动物优势度的划分:个体数占 10%以上的土壤动物类群为优势类群,1%—10%之间的土壤动物类群为常见类群,1% 以下的为稀有类群。对土壤动物群落特征进行分析时,主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(E)、Margalef 丰富度指数(D)和 Simpson 优势度指数(C)进行分析[17-18]。本研究中土壤动物指标的方差分析和均值比较采用单因素(ANOVA)分析。土壤动物主要群落指标对秸秆还田的响应关系采用主成分分析法(PCA)进行分析。采用典范对应分析(CCA)方法对土壤动物密度与土壤环境因子关系进行分析。所有数据分析与作图采用 Excel 2003、SPSS 17.0 与 CANOCO 4.5 软件。

3 结果与分析

3.1 土壤动物群落组成特征

研究区域内土壤动物类群与数量组成如表 2 所示。由表 2 可以看出:在 5 个样地 3 个采样年份共获取中小型土壤动物 21779 只,分别隶属于 58 个类群,其中优势类群为甲螨亚目、前气门亚目和节跳虫科 3 类,占总

数的 74.43%,常见类群为中气门亚目、姬跳虫科、绫跳虫科、摇蚊科、棘跳虫科、圆跳虫科、驼跳科、山跳科和隐翅虫科 9 类,占总个体的 22.94%,以上动物类群为研究区域内主要动物类群。其余 46 类为稀有类群,占总个体数的 2.63%。不同秸秆还田处理样地存在差异,样地 A 中土壤动物个体数最多(4491 个),样地 B 中土壤动物类群数最多(37 种)。

表 2　不同处理样地中小型土壤动物类群和数量组成(平均值)

Table 2　Group composition and quantitative distribution of meso-micro soil fauna in indifferent treatment sites (Mean)

类群 Taxa	样地 A 密度 Site A density/ (只/m^2)	样地 B 密度 Site B density/ (只/m^2)	样地 C 密度 Site C density/ (只/m^2)	样地 D 密度 Site D density/ (只/m^2)	样地 E 密度 Site E density/ (只/m^2)	总计 Total 平均密度 Density (只/m^2)	总计 Total 平均密度 Density %
甲螨亚目 Oribatida	18266.67(+++)	15375.00(+++)	20475.00(+++)	15208.33(+++)	15325.00(+++)	16930.00	46.6
中气门亚目 Mesostigmata	2625.00(++)	1558.33(++)	5208.33(+++)	3016.67(++)	3150.00(++)	3111.67	8.57
前气门亚目 Prostigmata	4600.00(+++)	4633.33(+++)	4108.33(++)	4391.67(+++)	4550.00(+++)	4456.67	12.3
节跳虫科 Isotomidae	3333.33(++)	6058.33(+++)	12225.00(+++)	2958.33(++)	3566.67(+++)	5628.33	15.5
姬跳虫科 Hypogastruridae	2166.67(++)	616.67(++)	700.00(++)	875.00(++)	1225.00(++)	1116.67	3.08
绫跳虫科 Entomobryidae	225.00	1250.00(++)	483.33(++)	583.33(++)	333.33(++)	575.00	1.58
摇蚊科 Chironomidae	1183.33(++)	108.33	125.00	591.67(++)	766.67(++)	555.00	1.53
棘跳虫科 Onychiuridae	1141.67(++)	1408.33(++)	608.33(++)	1416.67(++)	1150.00(++)	1145.00	3.15
鳞跳虫科 Tomocetidae	0	8.33	8.33	8.33	16.67	8.33	0.02
圆跳虫科 Sminthuridae	350.00	933.33(++)	358.33	175.00	350.00(++)	433.33	1.19
疣跳虫科 Neanuridae	58.33	50.00	141.67	41.67	16.67	61.67	0.17
驼跳科 Cyphoderidae	558.33(++)	375.00(++)	525.0(++)	591.67(++)	483.33(++)	506.67	1.4
山跳科 Pseudachorutidae	591.67(++)	283.33	225.00	616.67(++)	541.67(++)	451.67	1.24
线蚓科 Enchytraeidae	0	0	158.33	41.67	91.67	58.33	0.16
长足虻科 Dolichopodadae	8.33	8.33	16.67	133.33	133.33	60.00	0.17
蚁科 Formicidae	66.67	8.33	50.00±23.03	0	16.67	28.33	0.08
蜘蛛目 Araneida	8.33	8.33	16.67±11.24	25.00	33.33	18.33	0.05
步甲科 Carabidae	400.00(++)	33.33	8.33±	166.67	100.00	141.67	0.39
步甲幼虫 Carabidae larvae	58.33	8.33	41.67	25.00	16.67	30.00	0.08
蝉科 Cicadidae	0	0	16.67	0	0	3.33	0.01
剑虻科 Therevidae	0	0	8.33	0	0	1.67	0.01
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0	16.67	0	8.33	16.67	8.33	0.02
隐翅虫科 Staphylinidae	1166.67(++)	208.33	191.67	333.33(++)	266.67	433.33	1.19
隐翅甲幼虫 Staphylinidae larvae	50.00	16.67	41.67	91.67	33.33	46.67	0.13
夜蛾科 Noctuidae	0	33.33	0	25.00	0	11.67	0.03
大蚊科 Tipulidae	8.33	0	16.67	0	33.33	11.67	0.03
蓟马科 Thripidae	191.67	41.667	291.67	50.00	75	130.00	0.36
金龟甲科 Scarabaeoidae	8.333	25.00	0	0	8.33	8.33	0.02
啮虫目 Corrodentia	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
叩甲科 Elateridae	8.33	0	25.00	16.67	8.33	11.67	0.03
出尾蕈甲科 Scaphidiidae	8.33	0	0	0	0	1.67	0.01
虎甲科 Cicindelidae	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
蝇科 Muscidae	0	0	16.67	0	0	3.33	0.01
锯谷盗 Silvanidae	0	16.67	0	0	0	3.33	0.01
尖眼蕈蚊科 Sciaidae	8.33	0	83.33	0	0	18.33	0.05
网蝽科 Tingidae	0	0	66.67	25.00	33.33	25.00	0.07
蚜科 Aphididea	100.00	91.67	175.00	33.33	41.67	88.33	0.24

续表

类群 Taxa	样地 A 密度 Site A density/(只/m²)	样地 B 密度 Site B density/(只/m²)	样地 C 密度 Site C density/(只/m²)	样地 D 密度 Site D density/(只/m²)	样地 E 密度 Site E density/(只/m²)	总计 Total 平均密度 Density (只/m²)	%
小蜂科 Chalcidae	41.67	50.00	8.33	16.67	41.67	31.67	0.09
蚋科 Simuliidae	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
蚁甲科 Pselaphidae	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
苔甲科 Scydmaenidae	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
叶甲科 Chrysomelidae	16.67	0	8.33	16.67	33.33	15.00	0.04
长小蠹科 Platypodidae	0	0	8.33	0	0	1.67	0.01
冬大蚊科 Tipulidae	8.33	0	0	0	0	1.67	0.01
鹬虻科 Rhagionidae	16.67	8.33	33.33	25.00	66.67	30.00	0.08
蚤蝇科 Phoridae	16.67	0	0	16.67	0	6.67	0.02
大蕈甲科 Erotylidae	16.67	0	0	0	0	3.33	0.01
地甲科 Tenebrionidae	66.67	16.67	50.00	41.67	8.33	36.67	0.1
葬甲科 Silphidae	8.33	0	0	0	0	1.67	0.01
舞虻科 Empididae	0	16.67	16.67	0	8.33	8.33	0.02
象甲科 Curculionidae	0	0	41.67	0	25.00	13.33	0.04
尺蛾科 Geometridae	8.33	0	0	0	0	1.67	0.01
扁甲科幼虫 Coleoptera larvae	33.33	0	0	0	0	6.67	0.02
圆泥甲科 Georyssidae Laporte	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
锹甲科 Lucanidae	0	8.33	0	0	0	1.67	0.01
实蝇科 Tephritidae	0	0	8.33	0	0	1.67	0.01
尺蛾科 Geometridae	0	0	0	8.33	0	1.67	0.01
长蝽科 Lygaeidae Schilling	0	0	0	0	8.33	1.67	0.01
总个体数 Individual number	4491	3999	5591	3789	3909	21779	
总类群数 Group number	36	37	38	32	35	58	

(+++):土壤动物优势类群;(++):土壤动物常见类

由表 2 中可以看到,不同处理样地的土壤动物类群组成略有差异,但甲螨亚目土壤动物在所有样地中都是优势土壤动物,姬跳虫科、棘跳虫科与驼跳科土壤动物在所有样地中都是常见土壤动物。这表明甲螨亚目、姬跳虫科、棘跳虫科与驼跳科等类群土壤动物在本地区是最能适应环境变化的土壤动物类群。另外,前气门亚目、中气门亚目与节跳虫科等土壤动物类群在所有样地不是优势类群就是常见类群,这表明这些土壤动物类群是该地区广适性土壤动物类群。

3.2 不同秸秆处理样地土壤动物群落结构特征

3.2.1 土壤动物群落指标水平空间分布

由表 3 可以看出,经过秸秆处理后的样地,土壤动物密度都显著低于对照样地 C($P<0.05$)。从土壤动物类群来看,秸秆处理后的样地低于样地 C (17.17)中的类群,但样地 A、D、E 与对照样地 C 差异不显著($P>0.05$)。样地 A 中土壤动物多样性指数最高(1.72),明显高于对照样地 C。样地 B 中土壤动物均匀性最高(0.64),显著高于对照样地 C($P<0.05$)。对照样地 C 中,土壤动物丰富度指数 (2.63)与优势度指数最高(0.37)。以上结果表明,秸秆处理后的样地对土壤动物群落影响较大,与对照样地 C 有较大差异。但不同秸秆还田处理方式对不同土壤动物的特征指标影响是不一样的。

3.2.2 土壤动物群落指标垂直分布

不同秸秆还田方式处理后导致土壤动物个体数与类群数在土壤剖面中分布特征与对照样地 C 不同。由图 1 可以看出,对于土壤动物个体数,在上层土壤,秸秆还田处理样地土壤动物个体数与对照样地差异较大。

0—5 cm 土层,秸秆还田处理样地中土壤动物个体数都显著少于对照样地 C($P<0.05$),5—10 cm 土层,样地 B、D、E 中土壤动物个体数显著少于对照样地 C($P<0.05$)。10—15 cm 土层,样地 A、D、E 中土壤动物个体数显著少于对照样地 C($P<0.05$)。15—20 cm 土层,秸秆还田处理样地中土壤动物个体数与对照样地 C 差异不显著。对于土壤动物类群,只有在 0—5 cm 土层,样地 B 土壤动物类群数显著少于对照样地 C($P<0.05$)。其它样地不同土层中的土壤动物类群数都与对照样地 C 差异不显著($P>0.05$)。从同一样地不同土层来看,除了样地 B 以外,秸秆处理样地内的土壤动物个体数与类群与对照样地 C 基本一致,具有表聚性,而且土壤动物个体数表聚性更为明显。其中,样地 A 中土壤动物个体数与类群在 0—10 cm 与 10—20 cm 土层间差异性最为明显($P<0.05$)。

表 3　不同处理样地土壤动物群落特征(平均值±标准误)

Table 3　Soil Fauna Communities in indifferent treatment sites (Mean±SE)

样地 Site	类群数 Group number	H'	E	D	C	密度/(只/m²) Density
A	15.92±1.12ab	1.72±0.08a	0.63±0.03a	2.51±0.15a	0.30±0.03a	37425.00±3305.55a
B	13.67±1.26a	1.63±0.06a	0.64±0.02a	2.21±0.16a	0.28±0.01a	33325.00±5121.73a
C	17.17±0.92b	1.46±0.09a	0.51±0.02b	2.63±0.14a	0.37±0.05a	46591.67±1529.88b
D	15.92±0.84ab	1.67 ±0.09a	0.60±0.03a	2.59±0.1418a	0.31±0.03a	31575.00±554.48a
E	16.08±0.57ab	1.69±0.09a	0.61±0.03a	2.61±0.09a	0.30±0.03a	32575.00±868.48a

同一列不同字母表示不同样地间的差异显著($P<0.05$),H': The diversity index 多样性指数; E:The evenness index 均匀度指数;D:The richness index 丰富度指数;C: Simpson Dominance Index 优势度指数

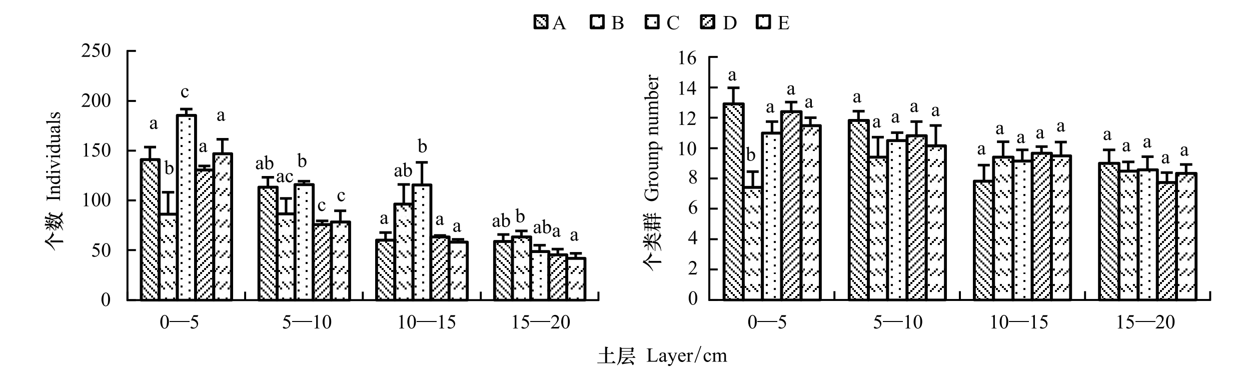


图 1　不同土层中小型土壤动物的个体数与类群数(平均值±标准误)

Fig.1　Individuals and group number of meso-micro soil fauna in the different layer (Mean±SE)

不同字母表示同一月份不同样地间的差异显著($P<0.05$)

不同处理样地不同土层中小型土壤动物优势类群的分布情况如表 4 所示。由表 4 可以看出经过不同秸秆还田方式处理后的样地,土壤中优势土壤动物与对照样地 C 在空间分布也有较大差异,所有秸秆处理样地各土层优势土壤动物与对照样地 C 没有完全一致的。

总体来看,五个样地中,样地 A 在所有土层中,土壤中优势中小型土壤动物类群都是少的。总的来看,甲螨亚目在每个样地不同土层都存在,是该地区广适性的优势动物类群。对照样地 C 中,节跳虫科与中气门亚目几乎在所有土层都为优势土壤动物,而在不同秸秆处理样地中,节跳虫科、中气门亚目与前气门亚目等土壤动物类群在大部分样地不同土层中都是优势土壤动物,因此,节跳虫科与中气门亚目动物可以确定为当地常见的优势土壤动物,前气门亚目动物可能为对秸秆处理后比较适应的土壤动物。

3.3　环境因素对土壤动物群落结构的影响

3.3.1　秸秆还田对土壤动物主要群落特征指标的影响

本研究对土壤动物个体数、类群、多样性指数、均匀性指数、丰富度指数、优势度指数、密度、优势类群(甲

螨亚目、前气门亚目、节跳虫科等 3 类）与常见类群（中气门亚目、姬跳虫科、绫跳虫科、摇蚊科、棘跳虫科、圆跳虫科、驼跳科、山跳科、隐翅虫科等 9 类）的个体数量等 19 个土壤动物特征指标采用主成分法进行分析，确定对秸秆还田环境最敏感的土壤动物特征指标。本研究选取前两个主成分，如表 5 所示，累积贡献率达到了 99.99%，可以包含 19 个土壤动物特征指标的绝大部分信息。

表 4 不同处理样地不同土层中小型土壤动物优势类群的分布

Table 4 Distribution of dominant groups of meso-micro soil fauna in the different plot with the different layer

土层 Layer/cm	样地 Site				
	A	B	C	D	E
0—5	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 中气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 中气门亚目 前气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科
5—10	甲螨亚目	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 中气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 前气门亚目	甲螨亚目 中气门亚目 前气门亚目 节跳虫科
10—15	甲螨亚目 前气门亚目	甲螨亚目 前气门亚目	甲螨亚目 节跳虫科	甲螨亚目 前气门亚目	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科
15—20	甲螨亚目	甲螨亚目 前气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 中气门亚目 节跳虫科	甲螨亚目 前气门亚目	甲螨亚目 中气门亚目 前气门亚目

表 5 中小型土壤动物主成分特征根与方差贡献率

Table 5 Eigenvalue and variance contribution of principal components

主成分 Principal component	特征根 Eigenvalues	方差贡献率/% Variance contribution	累积方差贡献率/% Cumulative variance contribution
1	7.504	50.029	50.029
2	7.495	49.969	99.998

以每个主成分的对应特征值占所选取的两个主成分特征值之和的比值作为权重，分别与对应的主成分值相乘后求和得到每个土壤动物特征指标的综合分值，然后进行排序[19]。结果如表 6 所示，由表 6 可以看出：综合分值前 5 名为：土壤动物密度、土壤动物个体数、甲螨亚目动物类群、节跳虫科动物类群、前气门亚目动物类群，这表明这 5 个中小型土壤动物特征指标对秸秆还田处理最为敏感，可以作为考察黑土耕作秸秆还田效应的指示标志。

表 6 中小型土壤动物主要群落特征指标主成分综合值与排序

Table 6 Comprehensive value and Rank of characteristics of meso-micro soil fauna

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	综合分值 Comprehensive value	排序 Rank
个体数 Individual	−0.047	−0.058	−0.052	2
类群数 Group number	−0.180	−0.168	−0.174	9
H'	−0.170	−0.181	−0.176	17
E	−0.171	−0.181	−0.176	18
D	−0.173	−0.178	−0.176	16
C	−0.173	−0.179	−0.176	19
密度 Density	2.954	2.881	2.917	1
甲螨亚目 Oribatida	−2.593	2.361	−0.118	3

续表

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	综合分值 Comprehensive value	排序 Rank
前气门亚目 Prostigmata	-0.141	-0.180	-0.160	5
节跳虫科 Isotomidae	1.457	-1.774	-0.158	4
中气门亚目 Mesostigmata	0.162	-0.492	-0.165	6
姬跳虫科 Hypogastruridae	0.068	-0.412	-0.172	8
绫跳虫科 Entomobryidae	-0.071	-0.277	-0.174	11
摇蚊科 Chironomidae	-0.036	-0.312	-0.174	10
棘跳虫科 Onychiuridae	-0.018	-0.326	-0.172	7
圆跳虫科 Sminthuridae	-0.218	-0.131	-0.174	15
驼跳科 Cyphoderidae	-0.169	-0.179	-0.174	12
山跳科 Pseudachorutidae	-0.350	0.002	-0.174	13
隐翅虫科 Staphylinidae	-0.134	-0.215	-0.174	14

H': Shannnon-Wiene 多样性指数; E:Pielou 均匀度指数;D:Margalef 丰富度指数;C:Simpson 优势度指数

3.3.2　土壤动物密度与土壤环境因素的关系

土壤生境条件决定了土壤动物存在的类群密度[20]。如图 2 所示,由 CCA 分析可以看出:山跳科、长足虻科、网蝽科等动物类群密度与土壤全氮含量显著正相关。前气门亚目、节跳虫科、绫跳虫科、驼跳科、长足虻科、蜘蛛目、蓟马科、网蝽科、蚜科、象甲科等动物类群密度与土壤有机质含量显著正相关。前气门亚目、节跳虫科、绫跳虫科、驼跳科、长足虻科、蜘蛛目、蓟马科、网蝽科、蚜科、象甲科等动物类群密度与土壤有机碳含量显著正相关。中气门亚目、前气门亚目、节跳虫科、绫跳虫科、疣跳虫科、蚁科、蓟马科、蚜科等土壤动物类群密度与土壤碳氮比显著正相关,圆跳虫科、山跳科、地蜈蚣目等土壤动物类群密度与土壤碳氮比显著负相关。中气门亚目、前气门亚目、姬跳虫科、绫跳虫科、疣跳虫科、蚁科、步甲幼虫、蓟马科、蚜科、扁甲科幼虫等土壤动物类群密度与土壤全磷含量显著正相关,地蜈蚣目、金龟甲科等土壤动物类群密度与土壤全磷含量显著负相关。甲螨亚目、摇蚊科、圆跳虫科、山跳科、地蜈蚣目等土壤动物类群密度与土壤全钾含量显著负相关。长足虻科土壤动物密度与土壤 pH 成正比,中气门亚目、棘跳虫科、圆跳虫科、步甲幼虫、大蕈甲科、扁甲科幼虫土壤动物密度与土壤 pH 成反比。排序轴 I 解释了 42.0% 的土壤生境和动物物种变化关系,排序轴 I 和 II 累计解释了 60.9% 的生境和动物物种变化关系。总的来说,受土壤环境因子影响较大的类群多为研究区域内优势类群与常见类群,土壤动物的密度与土壤中有机质、有机碳、碳氮比与全磷的含量关系最为密切。

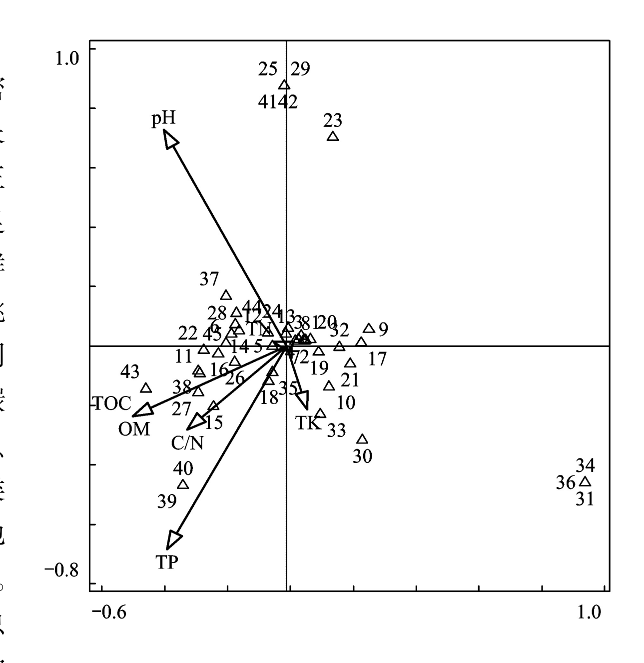


图 2　中小型土壤动物与土壤环境典范对应分析排序图

Fig. 2　Canonical correspondence analysis ordination of meso-micro soil fauna and soil environment

1:甲螨亚目; 2:中气门亚目; 3:前气门亚目; 4:节跳虫科; 5:姬跳虫科; 6:绫跳虫科; 7:摇蚊科; 8:棘跳虫科; 9:鳞跳虫科; 10:圆跳虫科; 11:疣跳虫科; 12:驼跳科; 13:山跳科; 14:长足虻科; 15:蚁科; 16:蜘蛛目; 17:步甲科; 18:步甲幼虫; 19:地蜈蚣目; 20:隐翅虫科; 21:隐翅甲幼虫; 22:蓟马科; 23:金龟甲科; 24:叩甲科; 25:虎甲科; 26:网蝽科; 27:蚜科; 28:小蜂科; 29:蚋科; 30:叶甲科; 31:冬大蚊科; 32:鹬虻科; 33:蚤蝇科; 34:大蕈甲科; 35:地甲; 36:葬甲科; 37:舞虻科; 38:象甲科; 39:尺蛾科; 40:扁甲科幼虫; 41:圆泥甲科; 42:锹甲; 43:实蝇科; 44:小尺蛾科; 45:长蝽科

4 讨论与结论

4.1 秸秆还田处理后土壤动物群落结构特征

农业生产过程中,为了提高作物产量,需要采用不同施肥措施对耕地进行处理,通过改变土壤的部分理化性质来提高作物产量。秸秆还田主要是秸秆经过水分淋溶、光降解、自然碎化、土壤动物取食、微生物分解由复杂的有机化合物转化成简单的有机物和无机化合物的过程。在本研究区域,与对照样地 C 相比,秸秆处理后,土壤动物密度减少了(C 样地为 46591 只/m^2,其它样地中,A 样地密度最高,为 37425 只/m^2),这主要是优势土壤动物甲螨亚目与节跳虫科数量减少造成的。这可能是由于秸秆分解过程会产生的一些次生代谢物,这些次生代谢物一般具有较低的微生物利用率,有些物质还可能对土壤生物有毒害作用,影响其生长和繁殖,而在本研究区域,秸秆还田降解过程中次生代谢物可能抑制了甲螨目与节跳虫的繁殖。秸秆还田影响土壤动物的生存环境,同时也影响了土壤动物的食物来源,从而影响土壤动物的类群结构。在本研究中,与对照样地 C 相比,秸秆处理后样地中土壤动物类群略有减少,这表明秸秆处理后,个别土壤动物类群无法适应,但绝大多数土壤动物类群可以生存。一般来说,土壤动物优势度指数越大,表明该群落中某个类群的土壤动物个体数占该群落总数的比例越高,这会导致该群落的优势度增加[21-22]。样地 A 的优势度指数与对照样地 C 的优势度指数最高,这主要是它们中拥有较高甲螨亚目动物类群数量造成的,说明该样地环境相对于其它秸秆还田处理样地更适合甲螨亚目动物生存,这可能是由于在样地 A 秸秆还田过程中加入了较多微生物催腐剂,催腐降解加快了秸秆降解,改善了土壤结构和理化性质,而这种环境相对于其它秸秆还田样地适于甲螨亚目动物生存(但秸秆还田降解过程中次生代谢物还是抑制了甲螨目,所以样地 A 中甲螨亚目动物还是少于对照样地 C)。在本研究中,秸秆处理后的样地中土壤动物多样性指数与均匀性指数都高于对照样地 C。这是由于秸秆除为土壤生物提供食源外,秸秆对土壤条件的调控能够影响土壤生物的生存环境,如秸秆改善土壤水分、降低土壤容重增加土壤透气性、提供多样化的生境,这些因素可能促进土壤生物的活动、增加了多样性[23]。同时,在本研究样地 A 中,微生物催腐剂结合秸秆还田,提高了土壤腐殖质含量,秸秆降解率最高,对土壤生境调控相对较好,因此,样地 A 中土壤动物多样性指数最高。在土壤动物丰富度上来看,样地 A、样地 D、样地 E 得到了提高。不同的类型样地,恰当的还田方式不同。林英华等对黄土区农田研究表明:秸秆与 NPK 配施与它施肥相比,有利于农田土壤动物种群的生存与发展[24]。而在本研究中,综合比较可以看出,微生物与秸秆配比还田的样地 A 中,土壤动物每个特征指标都较高,这表明该秸秆还田方式有利于提高土壤微生物活性,促进土壤养分循环,有利于耕作黑土中的土壤动物生存[24]。

4.2 秸秆还田处理后土壤动物垂直分布特征

土壤动物通常具有表聚性,如王振海等研究长白山苔原带土壤动物群落结构表明:土壤动物的个体数和类群数总体上随土壤深度的增加而降低[3]。在本实验,不同样地不同土层的土壤动物研究表明:秸秆处理后样地中土壤动物个体数与类群数基本都具有表聚性,这与对照样地 C 及通常的土壤动物垂直分布表聚特征没有区别。但经过不同秸秆还田方式处理后的样地,土壤中优势土壤动物与对照样地 C 在空间分布也有较大差异。甲螨亚目在所有样地各土层都存在,是广适的优势动物类群(尽管秸秆还田降解过程中次生代谢物在一定程度抑制了甲螨目动物的生长与繁殖,但该动物较适于研究区域生境生存)。节跳虫科与中气门亚目动物可以确定为当地常见的优势土壤动物,前气门亚目动物可能为对秸秆处理后比较适应的土壤动物。由于秸秆还田量与还田方式不同,造成了生境不同,从而影响了土壤动物的分布。秸秆还田量不同,则提供给土壤动物的食物多少不同,同时对生境改变强度不同。微生物催腐剂结合秸秆还田,则加快了秸秆分解速度,提升土壤腐殖质含量,从而更有利于中小型土壤动物生存。而秸秆还田后,秸秆主要位于土壤上层,该层营养与食物较多,因此,秸秆还田处理样地中土壤动物具有表聚性,同时由于秸秆还田方式不同,造成了秸秆分解程度不同,从而又造成了土壤动物具有差异性(秸秆破碎化程度影响了土壤动物摄取食物的类群)。对于样地 A,其上层(0—10 cm)土壤动物个体数与类群远比其它样地多(除了对照样地 C 由于优势动物甲螨亚目与节跳

虫科数量过高导致土壤动物个体数多),在样地 A 中,土壤动物更趋于生存于上层土壤。这是由于样地 A 中加入了较多微生物催腐剂与秸秆,等于增加了土壤动物食物来源,而微生物催腐剂加快了秸秆降解(秸秆降解初期,主要是大型土壤动物通过取食来破碎化,这个阶段,适于大型土壤动物生存,这个阶段后,才是中小型土壤动物起主要作用,同时,也利于中小型土壤动物生存。因此,微生物催腐剂加入促进了秸秆降解的第一个阶段快速完成,从而创造了更有利于中小型土壤动物生存的生境),而微生物催腐剂与秸秆主要位于土层上部,因此,样地 A 中,中小型土壤动物表聚特征更明显。这进一步说明,在样地 A 的还田方式下,更有利于中小型土壤动物的生存。

4.3　土壤环境因素对土壤动物群落结构主要影响

秸秆还田改良了土壤结构,使土壤疏松,孔隙度增加,容量减轻,促进微生物活力和作物根系的发育,从而改变了土壤动物的生境。在本研究中,由于秸秆还田量与还田方式不同,造成秸秆降解速率与土壤作用强度差异,从而表现出土壤理化性质具有一定差异性,进行影响了土壤群落结构。而土壤动物是耕作生态系统的重要组成要素,敏感性强,活动能力强,能对土壤环境的变化做出快速的反应[25]。因此,其特征指标可以作为衡量土壤质量变化的重要因子。测定土壤生物的数量和活性可为土壤退化或改善作早期的指示作用[26]。如 Ivask 等研究表明:蚯蚓群落特征对土壤的类型、有机质含量、孔隙度、酸碱性和含水率等起指示作用[27]。朱新玉等研究结果初步认为:农田土壤动物类群的种群个体数量、线虫动物门个体数量、大蚓类个体数量、甲螨亚目个体数量、密度-类群指数 DG 及土壤动物群落类群数等 6 个指标能够预测长期施肥引起的土壤肥力变化,具有指示土壤质量变化的潜力[10]。为此,本文为了明晰在耕作黑土秸秆还田过程中土壤动物的敏感因子,采用主从分析法对 19 个土壤动物特征指标进行了分析,结果土壤动物密度、土壤动物个体数、甲螨亚目动物类群、节跳虫科类群、前气门亚目类群这几个指标得分最高。这表明:这 5 个中小型土壤动物特征指标对不同秸秆还田处理最为敏感,也就是对土壤质量变化最为敏感。同时,采用 CCA 分析土壤动物类群密度与土壤环境因子之间的关系,该结果进一步表明了具体某个土壤动物类群对不同土壤环境因子变化的响应变化特点。总的来说, 受土壤环境因子影响较大的类群多为研究区域内优势类群与常见类群,土壤动物的密度与土壤中有机质、有机碳、碳氮比与全磷的含量关系最为密切。

综上所述,在研究区域内甲螨亚目、姬跳虫科、棘跳虫科与驼跳科等类群土壤动物在本地区是最能适应环境变化的土壤动物类群。另外,前气门亚目、中气门亚目与节跳虫科等土壤动物类群是该地区广适性土壤动物类群。样地经过秸秆处理后对土壤动物群落影响较大,但不同秸秆还田处理方式对不同土壤动物的特征指标影响是不一样的。秸秆处理后样地同样具有表聚性,而且土壤动物个体数表聚性更为明显。在样地 A 中,采用玉米秸秆与高浓度微生物催腐剂组合还田,土壤动物群落特征指标相对其它秸秆处理样地较高,而且土壤动物个体数与类群数在该处理方式下上层土壤相对较高,说明该种秸秆方式的土壤肥力也相对较好,有利于耕作黑土中的土壤动物生存。不同秸秆还田方式对土壤动物密度、土壤动物个体数、甲螨亚目动物类群、节跳虫科类群、前气门亚目影响较大。这五个指标是耕作黑土中对秸秆还田方式反应的敏感土壤动物指标,今后,可以针对这 5 个土壤动物指标进行量化研究,作为考察耕作黑土秸秆还田肥力效应的评价指标。

参考文献(References):

[1] 汪冠收. 兰考县玉米秸秆还田分解中土壤动物群落特征及其作用研究[D]. 开封: 河南大学, 2012.

[2] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. Science, 2004, 304(5677): 1629-1633.

[3] 王振海, 殷秀琴, 蒋云峰. 长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性. 生态学报, 2014, 34(3): 755-765.

[4] Dong W H, Yin X Q. Transformation of carbon and nitrogen by earthworms in the decomposition processes of broad-leaved litters. Chinese Geographical Science, 2007, 17(2): 166-172.

[5] 刘任涛, 朱凡, 贺达汉, 辛明, 徐坤. 草地开垦对土壤动物多样性与功能群结构的影响. 中国草地学报, 2014, 36(6): 34-40.

[6] 朱永恒, 张衡, 韩斐, 周举花, 高婷婷. 长江中下游地区农田土地利用对中小型土壤动物群落的影响. 土壤通报, 2014, 45(2): 314-319.

[7] Zhi D J, Li H Y, Nan W B. Nematode communities in the artificially vegetated belt with or without irrigation in the Tengger Desert, China.

European Journal of Soil Biology, 2008, 44(2): 238-246.
[8] 战丽莉. 农田黑土中小型土壤动物多样性特征及其影响因素[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2013.
[9] 杨佩, 王海霞, 岳佳. 秸秆覆盖免耕条件下中小型土壤动物的生态分布特征. 水土保持研究, 2013, 20(2): 145-150.
[10] 朱新玉, 董志新, 况福虹, 朱波. 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 464-474.
[11] Kautz T, López-Fando C, Ellmer F. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. Applied Soil Ecology, 2006, 33(3): 278-285.
[12] Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini M T, Landi L, Pietramellara G, Renella G. Microbial diversity and soil functions. European Journal of Soil Science, 2003, 54(4): 655-670.
[13] Postma-Blaauw M B, de Goede R G M, Bloem J, Faber J H, Brussaard L. Agricultural intensification and de-intensification differentially affect taxonomic diversity of predatory mites, earthworms, enchytraeids, nematodes and bacteria. Applied Soil Ecology, 2012, 57: 39-49.
[14] 卢萍, 徐演鹏, 谭飞, 杨忠岐, 林英华. 黑土区农田土壤节肢动物群落与土壤理化性质的关系. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1848-1856.
[15] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
[16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-76.
[17] 张雪萍, 黄丽荣, 姜丽秋. 大兴安岭北部森林生态系统大型土壤动物群落特征. 地理研究, 2008, 27(3): 509-518.
[18] Cortet J, Gomot-De Vauflery A, Poinsot-Balaguer N, Gomot L, Cluzeau T, Daniel C. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. European Journal of Soil Biology, 1999, 35(3): 115-134.
[19] 李孝刚, 丁昌峰, 王兴祥. 重金属污染对红壤旱地小节肢类土壤动物群落结构的影响. 生态学报, 2014, 34(21): 6198-6204.
[20] 刘任涛, 赵哈林, 赵学勇, 刘新民. 科尔沁沙地土壤动物群落分布特征. 北京: 科学出版社, 2015.
[21] 李伟, 崔丽娟, 王小文, 赵欣胜, 张曼胤, 高常军, 张岩. 太湖岸带湿地土壤动物群落结构与土壤理化性质的关系. 林业科学, 2013, 49(7): 106-113.
[22] 殷秀琴, 安静超, 陶岩, 辛未冬, 蒋云峰, 王富斌. 拉萨河流域健康湿地与退化湿地大型土壤动物群落比较研究. 资源科学, 2010, 32(9): 1643-1649.
[23] 李强, 周道玮, 陈笑莹. 地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用. 生态学报, 2014, 34(14): 3807-3819.
[24] 林英华, 杨学云, 张夫道, 古巧珍, 孙本华, 马路军. 长期施肥对黄土区农田土壤动物群落的影响. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1213-1218.
[25] 安洋. 松辽平原玉米带土壤动物多样性特征研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
[26] Haynes R J, Tregurtha R. Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical indices of soil quality. Biology and Fertility of Soils, 1999, 28(3): 259-266.
[27] Ivask M, Kuu A, Sizov E. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. European Journal of Soil Biology, 2007, 43(S1): 39-42.